

**ULTRAZVUKOVÉ PROZAŘOVÁNÍ VRTNÉHO JÁDRA Z LOKALITY
HISTORICKÉHO DOLU JERONÝM
ULTRASONIC MEASUREMENT OF DRILL CORE FROM JERONÝM MINE**

Abstract

This contribution describes ultrasonic measurement of the granite specimen from Jeroným mine in laboratory conditions. Instrumentation TICO was used for this experimental measurement on the rock. Changes in spreading velocities detect existence of fissures and anisotropy in the granite specimen.

Key words: ultrasonic measurement, spreading velocity

Úvod

Ke zkoušení vzorků za účelem stanovení vybraných vlastností zkoušeného materiálu se využívají různé metody. Mnohé z těchto metod patří k tzv. nedestruktivním metodám. To znamená, že při nich zkoušené těleso nebo konstrukci nepoškodíme. Nedestruktivní metoda zkoušení byla vybrána také pro první zhodnocení horninového materiálu získaného při vrtání dvou třímetrových vrtů v prostorách historického Dolu Jeroným. Jednalo se o měření průběhových rychlostí ultrazvukových vln pomocí přenosné ultrazvukové aparatury TICO.

Motivace experimentů v historických důlních dílech

Znalost fyzikálních parametrů hornin je nutná pro řešení řady problémů nejen v historických důlních dílech - pro detailní geologické mapování, pro zhodnocení stabilitních poměrů, pro realizaci věrohodných matematických modelů, atd. Stanovení fyzikálních parametrů lze provést na základě:

- ☐ laboratorních zkoušek na „náhodně odebraných vzorcích“ (bez zásahu do masivu)
- ☐ laboratorních zkoušek na systematicky odebraných vzorcích (zásah do masivu, znalost umístění vzorku a jeho orientace)
- ☐ experimentálních měření přímo v důlních prostorách (bez zásahu do masivu, pomocí nedestruktivních metod)

Při provádění experimentálních měření, průzkumných pracích, monitoringu a veškerých rekonstrukčních pracích v historickém důlním díle bychom měli k těmto aktivitám přistupovat takovým způsobem, aby byly zásahy do historických unikátních částí co možno minimální. Řešením je realizace krátkodobých měření bez poškození historických částí (geofyzikální metody, nedestruktivní metody), případně „šetrná instalace“ trvalého měřicího zařízení. Nejstarší části důlních děl mohou patřit ze stabilitního hlediska k nejkritičtějším místům v důsledku dlouhodobé degradace horninového materiálu a je třeba je podrobit důkladnému posouzení, přičemž posouzení naměřených dat je třeba řešit individuálně.

Důl Jeroným, který byl v roce 1990 prohlášen Ministerstvem kultury ČR nemovitou kulturní památkou a v roce 2008 „národní kulturní památkou“, prochází postupnou rekonstrukcí a v budoucnu se uvažuje o jeho zpřístupnění veřejnosti (Žůrek a

¹ Ing., FAST VŠB – Technická univerzita Ostrava, 17. listopadu 15, 708 00 Ostrava – Poruba, (též Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Ostrava), marketa.lednicka@vsb.cz

Kořínek, 2003). V rámci stabilitního posouzení tohoto důlního díla (Kaláb et al., 2008) se v současné době zkouší také využití nedestruktivní metody „ultrazvukového prozařování“ - jedná se o využití přenosné měřicí aparatury pro měření rychlosti průchodu ultrazvukových vln.

Provedená laboratorní měření

V roce 2007 byla provedena modelová analýza stabilitní a napěťo-deformační situace vybrané komory Dolu Jeroným (komora K2 na štolovém patře; Hrubešová et al., 2007). Pro vytvoření věrohodného matematického modelu bylo třeba nejprve laboratorně stanovit vybrané materiálové charakteristiky. Laboratorní měření zajistilo oddělení laboratorního výzkumu geomateriálů Ústavu geoniky AV ČR. Jednalo se o zkoušení náhodně odebraných vzorků z modelované komory K2 na zařízení MARUTO (Konečný et al., 2006). Vybrané výsledky tohoto laboratorního měření jsou uvedeny v tab. 1. Na základě těchto výsledků si můžeme udělat prvotní představu o rychlostech průchodu podélných ultrazvukových vln daným materiálem.

V listopadu roku 2007 byly v jedné z nejstarších a nejrozsáhlejších komor (komora K1) vyvrtány dva cca 3 metry dlouhé vodorovné vrty za účelem instalace kuželových sond pro kontinuální měření změn napjatosti masivu (sondy jsou součástí distribuovaného měřicího systému v Dole Jeroným, např. Knejzlík a Rambouský, 2008). Jeden vrt byl vyvrtán u ústí řázcí jámy v komoře K1 (vrt 1), druhý byl vyvrtán v komoře K1 u ústí chodby spojující horní a štolové patro (vrt 2).

Jádrové vrtní umožnilo získat zkušební materiál pro provedení experimentálních měření a stanovení materiálových charakteristik. Dvě vrtná jádra byla nejprve podrobena nedestruktivnímu zkoušení pomocí přenosných ultrazvukových aparatur a následně bude na jádře provedeno další zkoušení na přesných laboratorních přístrojích (oddělení laboratorního výzkumu geomateriálů, Ústav geoniky AV ČR). Jak můžeme vidět na obr. 1, vrtná jádra granitoidní horniny jsou místy značně narušená systémem puklin (vyhojených i nevyhojených), proto nelze provést měření po celé délce jádra.

Tab. 1 Výsledky laboratorního měření na vzorcích odebraných z komory K2 Dolu Jeroným - objemová hmotnost a rychlost průchodu podélných ultrazvukových vln (Konečný et al., 2006).

číslo zkušebního tělesa	objemová hmotnost (kg.m^{-3})	rychlost ultrazv. vln (m.s^{-1})
1	2570	3900
2	2575	3800
3	2575	4200
4	2573	4100
5	2562	3400
6	2573	3700
7	2590	4400
8	2593	4100
9	2580	4200
10	2593	4400



Obr. 1 Vrtná jádra a pohled do vrtu – vlevo vrt 1, vpravo vrt 2

Nedestruktivní zkoušení pomocí přenosné ultrazvukové aparatury

Jak bylo uvedeno v předešlé části, vrtná jádra byla nejprve podrobena nedestruktivnímu zkoušení pomocí ultrazvukového prozařování přenosnou aparaturou. Princip měření vychází z tzv. „ultrazvukové impulsové metody“ (využívá se především k nedestruktivnímu zkoušení betonu – ČSN 73 1371). Obecný postup této metody spočívá v opakovaném vysílání ultrazvukových impulsů do zkoušeného materiálu a jejich následná registrace, přičemž se měří čas šíření těchto impulsů a ze znalosti vzdálenosti vysílací a přijímací sondy se dopočítá impulsová rychlost. Možné varianty měření v závislosti na vzájemné poloze sond jsou popsány např. v Kaláb a Lednická (2007).

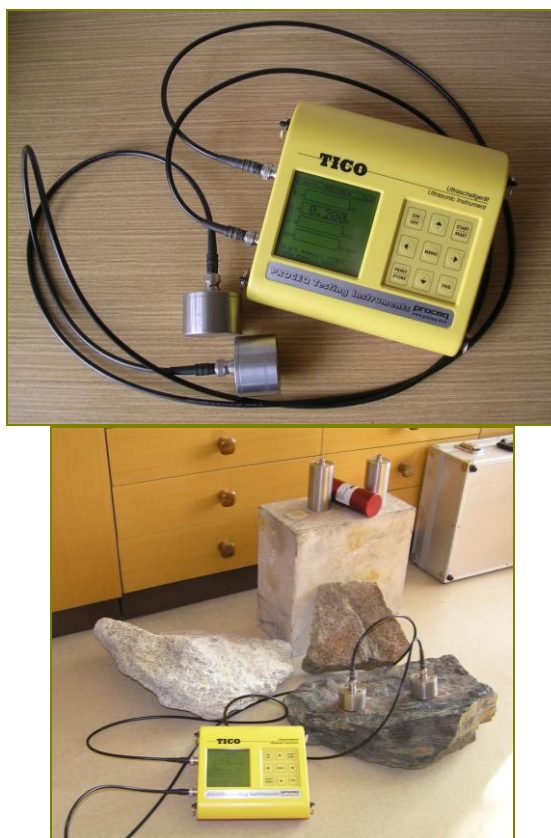
Měřicí aparatura

Pro provedení ultrazvukových měření byla využita přenosná měřicí aparatura TICO firmy Proceq (Švýcarsko), která je určena ke zkoušení betonu (detekce dutin, trhlin, zjišťování pevnosti betonu, modulu pružnosti, stejnoměrnosti zhuštění, apod.). Aparatura se skládá z vlastního indikačního přístroje a páru zvukových sond, tj. vysílače

a přijímače ultrazvukových impulsů (obr. 2). Indikační přístroj je snadno ovladatelný, data jsou zobrazována na digitálním displeji, k uložení naměřených dat slouží paměť přístroje (až 250 hodnot), které lze následně přenést na PC. Pro kalibraci přístroje je k dispozici kalibrační tyč (kovový váleček dané délky s přesně definovaným časem průchodu ultrazvukových vln). Napájení přístroje zajišťují tužkové baterie.

Technické parametry aparatury TICO:

- | | |
|--|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> rozsah měření | 15 až 6550 μ s |
| <input type="checkbox"/> rozlišení | 0,1 μ s |
| <input type="checkbox"/> velikost napětového impulsu | 1 kV (při třech impulsech za sekundu) |
| <input type="checkbox"/> teplotní rozsah pro měření | -10°C až + 60°C |
| <input type="checkbox"/> frekvence zvukových sond | 54 kHz nebo 24 kHz |



Obr. 2 Přenosná ultrazvuková aparatura TICO firmy Proceq (Švýcarsko)

Laboratorní měření na vrtném jádře z vrtu 1

Pro první měření bylo vybráno vrtné jádro z vrtu 1 (obr. 3). Průměr vrtného jádra je 70 mm, délka přibližně 2,6 m. Jak je možné vidět na obr. 3, v první části jádra je hornina celistvá, místy prostoupená vyhojenými puklinami, v druhé části vrtu je jádro rozpukané.



Obr. 3 Seskládané vrtné jádro (vrt 1) - začátek jádra je vlevo

Cílem měření bylo stanovení rychlostí průchodu UZ vln podél celistvé části vrtného jádra (značně narušené a rozpukané části nelze proměřit), detekce oslabených zón, anizotropie, změn rychlosti s hloubkou vrtu, apod.

Měření se provádělo při protilehlé poloze sond – přímé měření, za použití indulony jako akustického vazebného prostředku. Pro zmenšení dotykové plochy sond byly použity kovové kuželové nástavce (obr. 4), přičemž naměřený čas t' bylo třeba opravit o čas průchodu UZ vlny nástavci.

$$t = t' - t_n$$

t opravený čas průchodu UZ vlny horninovým materiálem

t' naměřený čas průchodu UZ vlny

t_n čas průchodu UZ vlny nástavci ($t_n = 15 \mu s$)

Z opraveného času t byla následně dopočítána rychlost průchodu UZ vlny materiálem.

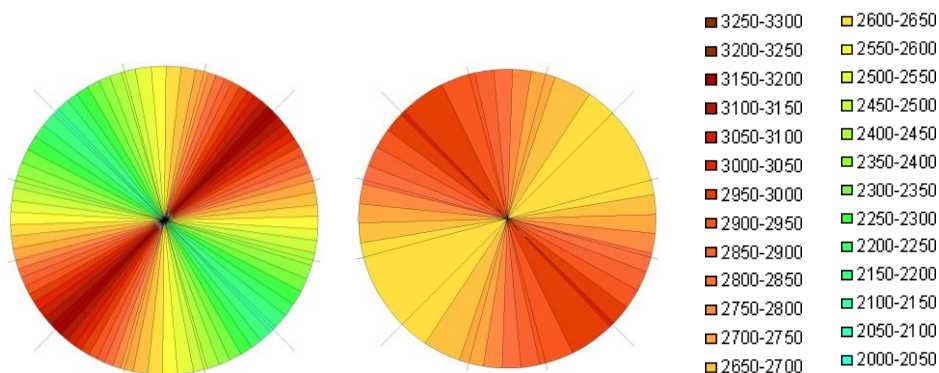


Obr. 4 Schéma měření na vrtném jádře pomocí nástavců

Při prvních měřeních na vrtném jádře se ukázalo, že hornina vykazuje určitou anizotropii v ploše kolmé na osu vrtu. Maximální a minimální rychlosti průchodu UZ vln se projevovaly nejčastěji ve směrech navzájem kolmých.

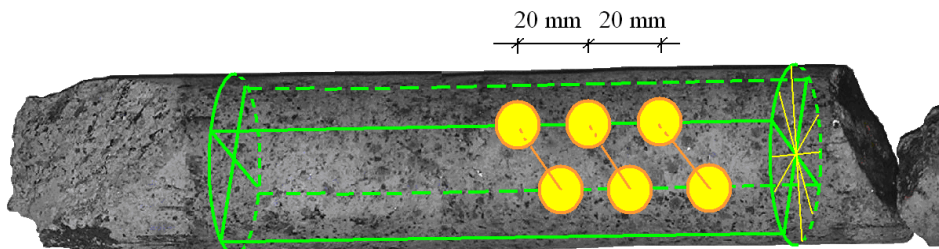
Postup měření

Na každém kuse jádra, který bylo možno proměřit, byly nejprve zjištěny směry maximálních a minimálních rychlostí (6 měřicích míst po obvodu jádra, příklad na obr. 5), a poté bylo jádro proměřeno po celé délce ve dvou na sebe kolmých směrech odpovídajících zjištěným maximálním a minimálním rychlostem (schéma na obr. 6).



Obr. 5 Hodnoty průběhových rychlostí ultrazvukových vln naměřené po obvodu jádra (barevná škála zobrazuje rozsahy průběhových rychlostí ultrazvukových vln v m/s).

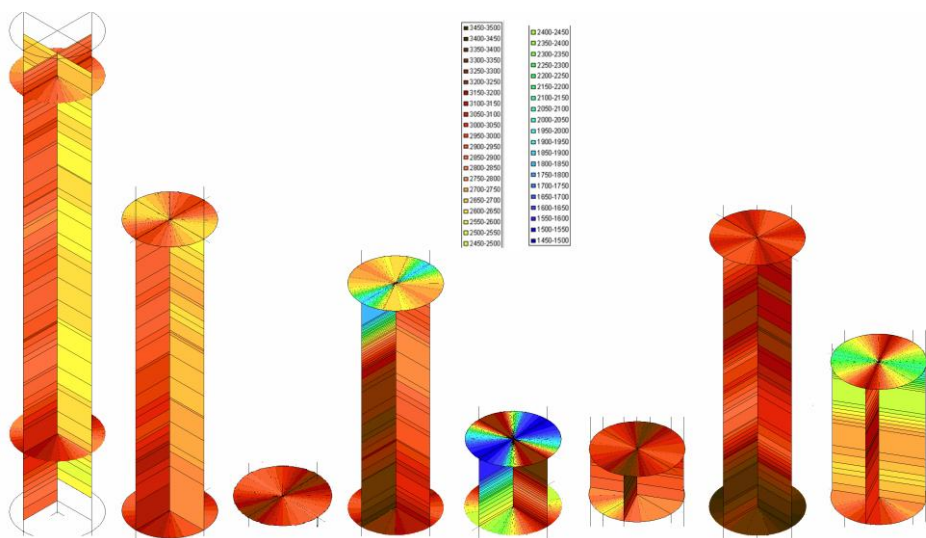
Celkem bylo proměřeno 8 částí vrtného jádra, zbylých 5 částí bylo značně porušených. Vzdálenost měřicích míst při prozařování podél jádra byla 20 mm (schéma na obr. 6), celkový počet měřicích míst byl 223. Na každém měřicím místě bylo provedeno 5 měření (vyloučení chyb v důsledku špatného kontaktu sondy s horninou).



Obr. 6 Schéma rozmístění měřicích míst podél vrtného jádra

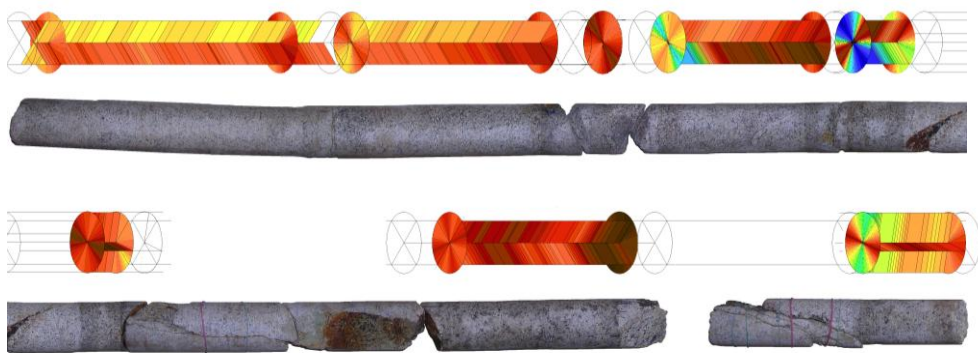
Vyhodnocení měření

Ze souboru pěti hodnot naměřených na jednom prozařovaném místě byla pro konečné vyhodnocení vybrána vždy maximální hodnota průběhové rychlosti. Hodnoty průběhových rychlostí byly zpracovány do prostorového modelu pro názornější zobrazení výsledků měření (obr.7).

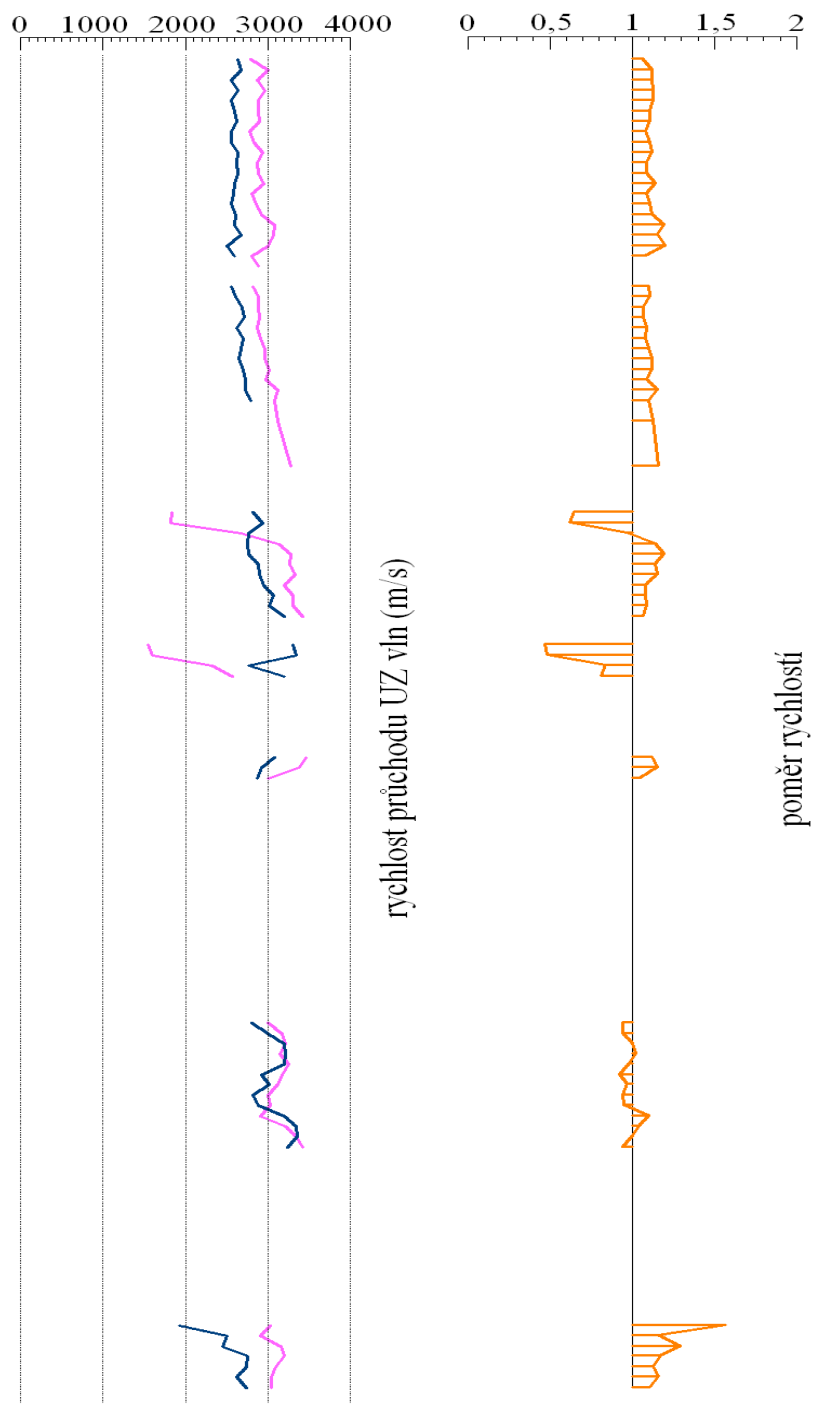


Obr. 7 Prostorový model prozářených částí vrtného jádra (vrt 1) – barevná škála zobrazuje rozsahy průběhových rychlostí ultrazvukových vln v m/s.

Hodnoty naměřených rychlostí průchodu UZ vln jsou v rozmezí 1500–3500 m/s, přičemž nižší hodnoty rychlostí odpovídají místům blízkým porušeným zónám. Hodnoty průběhových rychlostí směrem s hloubkou vrtu nepatrně narůstají (pomineme-li oslabené zóny). Směr maximálních a minimálních průběhových rychlostí (měřených ve směru kolmém na osu jádra) podél jádra se víceméně nemění, až na oslabené zóny (obr. 8). Poměr maximálních a minimálních rychlostí u neporušených částí jádra je v rozmezí 1,1 – 1,2 (obr. 9).



Obr. 8 Grafické znázornění průběhových rychlostí ultrazvukových vln podél vrtného jádra (vrt 1). Barevná škála zobrazuje rozsahy průběhových rychlostí ultrazvukových vln v m/s – viz. obr. 6.



Obr. 9 Hodnoty maximálních a minimálních průběhových rychlostí ultrazvukových vln (v m/s) podél vrtného jádra a jejich poměr.

Závěr

Pomocí nedestruktivní ultrazvukové impulsové metody byly laboratorně stanoveny hodnoty rychlostí průchodu UZ vln ve značné části vrtného jádra vrtu 1 pocházejícího z komory K1 Dolu Jeroným. Cílem bylo ověření použitelnosti této metody měření pro získání rychlé informace o rychlostech průchodu UZ vln horninovým materiálem. Na základě naměřených hodnot těchto rychlostí a jejich změn je možné detekovat oslabená místa v blízkosti rozpukaných částí jádra a anizotropii v rovině kolmé k ose vrtu. Rychlost průchodu UZ vln v neporušených částech jádra směrem s hloubkou vrtu nepatrně narůstá.

Dalším cílem bude proměření vrtného jádra vrtu 2 z Dolu Jeroným a porovnání výsledků stanovených přenosnými ultrazvukovými aparaturami s hodnotami rychlostí naměřenými na laboratorních zařízeních.

Poděkování

Tento výzkum je finančně podporován projektem No. 105/06/0068 Grantové agentury České republiky.

Literatura

- [1] ČSN 73 1371 Ultrazvuková impulsová metoda zkoušení betonu.
- [2] Hrubešová, E., Kaláb, Z., Kořínek, R. a Žůrek, P. (2007): Dílčí výsledky modelové analýzy stabilitní a napětí-o-deformační situace komory Dolu Jeroným. Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava), Řada stavební, roč. VII, č.2/2007, 91-98.
- [3] Konečný, P., Lukšová, J., Pivodová, K., Střilka, J. a Kraus, M. (2006): Fyzikální vlastnosti granitoidní horniny z lokality Krásno. Zpráva z laboratorního měření, Ústav geoniky AVČR, v.v.i., Ostrava, nepublikováno, 3 s.
- [4] Žůrek, P. a Kořínek, R. (2003): Zpřístupnění středověkého Dolu Jeroným v České republice. Acta Montanistica Slovaca, roč. 8, č.2-3, 96-100.
- [5] Kaláb, Z. a Lednická, M. (2007): Ověření použitelnosti aparatury TICO pro ultrazvukové měření v historickém důlním díle. Sborník Hornická Příbram ve vědě a technice 2007, CD, příspěvek T 04.
- [6] Kaláb, Z., Knejzlík, J., Kořínek, R., Kukutsch, R., Lednická, M. and Žůrek, P. (2008): Contribution to Experimental Geomechanical and Seismological Measurements in the Jeroným Mine. Acta Geodyn. Geomater., Vol. 5, No. 2(150), 213-223.
- [7] Knejzlík, J. and Rambouský, Z. (2008): Recent Solution of the Distributed Control and Measurement System in the Jeroným Mine – Modular System. Acta Geodynamica et Geomaterialia, Vol. 5, No. 2(150).

